



**PCT** WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales Büro  
INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation <sup>7</sup> :  
F01N  
A2  
(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 00/23694  
(43) Internationales  
Veröffentlichungsdatum: 27. April 2000 (27.04.00)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP99/07213  
(22) Internationales Anmeldedatum: 29. September 1999  
(29.09.99)  
(30) Prioritätsdaten:  
198 47 874.7 16. Oktober 1998 (16.10.98) DE  
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): VOLKSWAGEN AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; D-38436 Wolfsburg (DE).  
(72) Erfinder; und  
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): POTT, Ekkehard [DE/DE]; Westring 33, D-38518 Gifhorn (DE). SPLISTESER, Gunnar [DE/DE]; Gardelegener Strasse 10, D-38442 Wolfsburg (DE).  
(74) Gemeinsamer Vertreter: VOLKSWAGEN AKTIENGESELLSCHAFT; Brieffach 1770, D-38436 Wolfsburg (DE).

(81) Bestimmungsstaaten: CN, IN, JP, KR, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

**Veröffentlicht**

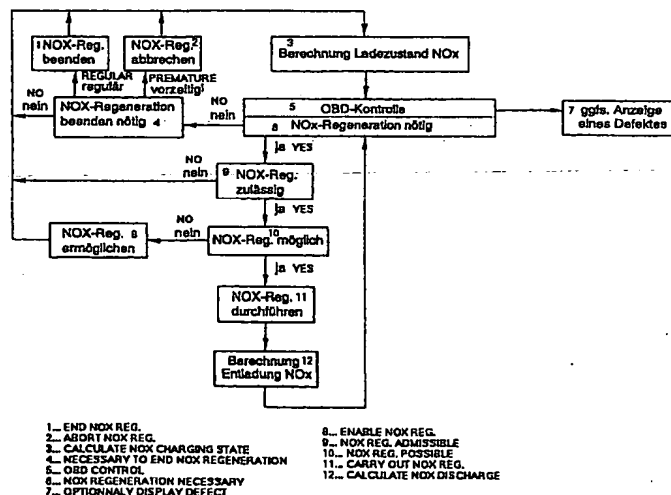
Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.

(54) Title: METHOD FOR REDUCING NITROGEN OXIDE IN THE EXHAUST GASES OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE OPERATED WITH A LEAN MIXTURE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR STICKOXIDREDUZIERUNG IM ABGAS EINER MAGER BETRIEBENEN BRENNKRAFTMASCHINE

**(57) Abstract**

The invention relates to a method for reducing nitrogen oxide in the exhaust gases of an internal combustion engine operating with a lean mixture and having a downstream NO<sub>x</sub> accumulation catalyst, wherein NO<sub>x</sub> accumulation is favored by measures aimed at increasing exhaust gas temperature and/or decreasing mass flow rate and NO<sub>x</sub> regeneration of the catalyst is controlled in such a way that optimal exhaust gas purification is achieved. In order to control NO<sub>x</sub> regeneration, the charging state of the catalyst with nitrogen oxide is determined and/or catalyst activity is monitored by means of an onboard diagnosis system. If maximum acceptable charging is surpassed or irregularities in catalyst activity are encountered, reliability of NO<sub>x</sub> regeneration is initially verified by checking whether safety-relevant components are functioning properly and/or whether the actual driving situation complies with predetermined driving parameters. A test is also carried out to determine whether it is possible to carry out NO<sub>x</sub> regeneration by complying with predetermined regeneration parameters. If reliability requirements are met, the necessary regeneration parameters are optionally regulated and NO<sub>x</sub> regeneration is initiated and carried out until a predetermined degree of regeneration is achieved or the results of the reliability tests show that the regeneration process should be aborted or interrupted. In this case, NO<sub>x</sub> regeneration is resumed depending on the degree of regeneration already achieved once reliability requirements are met or the process is repeated by returning to the above-mentioned step of the process in a similar way as when the regeneration process is normally ended. In view of the fact that the inventive method is particularly suitable for common rail diesel engines, the invention also describes a common rail diesel engine for the implementation of the inventive method that comprises a corresponding exhaust gas purification device.



#### (57) Zusammenfassung

Es wird ein Verfahren zur Stickoxidreduzierung im Abgas einer mager betriebenen Brennkraftmaschine mit einem nachgeschalteten NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator beschrieben, bei dem die NO<sub>x</sub>-Einlagerung durch abgastemperatursteigende und/oder massenstromsenkende Maßnahmen begünstigt und die NO<sub>x</sub>-Regeneration des Katalysators so gesteuert wird, daß sich eine optimale Abgasreinigung ergibt. Zur Steuerung der NO<sub>x</sub>-Regeneration wird der Beladungszustand des Katalysators mit Stickoxiden bestimmt und/oder die Katalysatoraktivität durch eine On-Board-Diagnose überwacht. Bei Überschreitung einer maximal zulässigen Beladung oder beim Auftreten einer Unregelmäßigkeit der Katalysatoraktivität wird durch Überprüfung sicherheitsrelevanter Bauteile auf ordnungsgemäße Funktionsweise und/oder der aktuellen Fahrsituation auf Einhaltung vorbestimmter Fahrparameter zunächst die Zulässigkeit einer NO<sub>x</sub>-Regeneration geprüft. Zudem wird überprüft, ob durch Einhaltung vorbestimmter Regenerationsparameter die Möglichkeit zur Durchführung einer NO<sub>x</sub>-Regeneration gegeben ist. Bei Erfüllung der Zulässigkeitsvoraussetzungen werden gegebenenfalls die erforderlichen Regenerationsparameter eingestellt und es wird eine NO<sub>x</sub>-Regeneration eingeleitet, die solange durchgeführt wird, bis entweder ein vorbestimmter Regenerationsgrad erreicht ist oder die aktuellen Ergebnisse der Zulässigkeitsprüfung einen vorzeitigen Abbruch oder eine Unterbrechung des Regenerationsvorgangs erfordern. In diesem Fall wird die NO<sub>x</sub>-Regeneration in Abhängigkeit von dem bereits erreichten Regenerationsgrad entweder bei erneutem Vorliegen der Zulässigkeitsvoraussetzungen wieder aufgenommen oder es erfolgt, wie bei einer regulären Beendigung des Regenerationsvorgangs, durch Rückkehr zu dem erstgenannten Verfahrensschritt eine Wiederholung des Verfahrensablaufs. Da das erfindungsgemäße Verfahren insbesondere für Common-Rail-Dieselmotoren geeignet ist, wird auch ein Common-Rail-Dieselmotor zur Durchführung dieses Verfahrens mit einer zugehörigen Abgasreinigungsvorrichtung beschrieben.

#### LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauritanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

## **Verfahren zur Stickoxidreduzierung im Abgas einer mager betriebenen Brennkraftmaschine**

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Stickoxidreduzierung im Abgas einer mager betriebenen Brennkraftmaschine mit einem nachgeschalteten NO<sub>x</sub>-Speicher oder NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator. Sie betrifft insbesondere ein Verfahren zur optimalen Steuerung der NO<sub>x</sub>-Regeneration des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators und ein Verfahren zur Verbesserung der Stickoxideinlagerung. Sie betrifft zudem einen Common-Rail-Dieselmotor zur Durchführung des Verfahrens mit einer zugehörigen Abgasreinigungsvorrichtung.

NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysatoren bestehen aus einer üblichen 3-Wege-Beschichtung, die um eine NO<sub>x</sub>-Speicherkomponente erweitert wird. Sie lagern Stickoxide durch Nitratbildung im mageren Abgas ein und setzen diese unter reduzierenden Bedingungen im fetten Abgas in unschädliches N<sub>2</sub> um, wobei sie gezielt entleert werden, um im wesentlichen ihre volle Absorptionsfähigkeit für Stickoxide zurückzuerhalten, die mit zunehmender Stickoxidbeladung in der Magerphase kontinuierlich absinkt.

Zur Minimierung der Stickoxidemission ist daher sowohl eine möglichst effektive Einlagerung der Stickoxide in den Katalysator als auch eine rechtzeitige und wirkungsvolle Regeneration des beladenen Katalysators durch intermittierendes Absenken des Lambda-Wertes in den fetten Betriebsbereich erforderlich.

Besondere Probleme treten hierbei bei Dieselmotoren auf, da diese üblicherweise nicht mit  $\lambda < 1$  laufen. Bei dieser Art von Brennkraftmaschinen sind daher besondere motorische Maßnahmen (wie u.a. eine Androsselung ohne Drehmomenteneinbruch) zur NO<sub>x</sub>-Regeneration erforderlich, die zu einer unerwünschten Veränderung des Fahrverhaltens führen können. Zudem ist bei dieseltypischen Abgastemperaturen von unter 200 °C eine NO<sub>x</sub>-Regeneration nicht möglich. Außerdem ist nur eine

unzureichende NO<sub>x</sub>-Einlagerung festzustellen. Überdies verursachen auch hohe Abgasmassenströme Probleme bei der NO<sub>x</sub>-Speichereffizienz.

Zur Stickoxidreduzierung im Abgas einer mager betriebenen Brennkraftmaschine wird in der deutschen Patentanmeldung 197 16 275.4 ein Steuerungsverfahren für die NO<sub>x</sub>-Regeneration eines zugeordneten NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators beschrieben. Bei diesem Verfahren wird zunächst der Beladungszustand des Katalysators bestimmt und mit einem vorbestimmten Schwellenwert verglichen. Bei Überschreitung dieses Wertes wird geprüft, ob die Betriebsbedingungen und die Fahrsituation eine NO<sub>x</sub>-Regeneration zulassen. Wenn dies der Fall ist, wird die erforderliche Regeneration eingeleitet, während andernfalls so lange damit gewartet wird, bis die Betriebsbedingungen und die Fahrsituation dies erlauben oder ein zweiter Schwellenwert für die Stickoxidbeladung des Katalysators überschritten wird. Nun wird durch gezielte Veränderung der Betriebsbedingungen eine Regeneration eingeleitet und so lange durchgeführt, bis der Beladungszustand des Katalysators den ersten Schwellenwert unterschreitet. Falls die Fahrsituation dies jedoch nicht erlaubt, unterbleibt die Einleitung der Regeneration oder eine bereits begonnene Regeneration wird vorzeitig abgebrochen, um zu gewährleisten, daß keine gefährlichen Betriebssituationen eintreten können. Ein abgebrochener Regenerationsvorgang wird erst dann wieder aufgenommen, wenn auf Grund der aktuellen Fahrsituation keine Bedenken gegen die Durchführung einer solchen Maßnahme mehr bestehen. Maßnahmen zur Verbesserung der NO<sub>x</sub>-Einlagerung sind der genannten Patentanmeldung nicht zu entnehmen.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht in der Schaffung eines Verfahrens zur Stickoxidreduzierung im Abgas einer mager betriebenen Brennkraftmaschine mit einem nachgeschalteten NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator, das sowohl eine möglichst effektive Einlagerung der freiwerdenden Stickoxide in den Katalysator ermöglicht als auch durch Verbesserung des beschriebenen NO<sub>x</sub>-Regenerationsverfahrens eine für eine ordnungsgemäße Funktionsweise des Katalysators stets ausreichend hohe Katalysatoraktivität gewährleistet, ohne daß es hierbei zu einer spürbaren Veränderung des Betriebsverhaltens der Brennkraftmaschine oder gar zu gefährlichen Fahrsituationen kommt. Die Aufgabe besteht auch in der Schaffung eines Common-Rail-Dieselmotors mit einer zugehörigen Abgasreinigungsvorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens.

Die  $\text{NO}_x$ -Einlagerung und die Speichereffektivität werden erfindungsgemäß durch abgastemperatursteigernde und/oder massenstromsenkende Maßnahmen verbessert. Insbesondere erfolgt im Schwachlastbereich eine Teillastandrosselung über eine Drosselklappe, wobei zusätzlich eine geringe Nacheinspritzmenge zur Steigerung der Katalysatortemperatur beitragen kann. Bei höheren Lasten kann auch eine Ladedrucksenkung sowie eine Veränderung der EGR-Rate oder der Abgasrückführungsrate und/oder eine Variation des Spritzbeginns/ der Spritzdauer der Vor-, Haupt- und Nacheinspritzmenge zum Einsatz kommen. Durch Halten einer Mindesttemperatur von etwa 190 - 200 °C im  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator-Vorlauf werden auch die Möglichkeiten zur Durchführung einer  $\text{NO}_x$ -Regeneration deutlich erweitert.

Bei dem erfindungsgemäßen  $\text{NO}_x$ -Regenerationsverfahren wird in einem ersten Verfahrensschritt (Verfahrensschritt a) der Beladungszustand des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators mit Stickoxiden bestimmt und mit einer gerade noch zulässigen minimalen Katalysatoraktivität entsprechenden vorbestimmten maximal zulässigen Stickoxidbeladung verglichen, um den optimalen Zeitpunkt zur Durchführung einer Regeneration zu ermitteln.

Zur Feststellung einer Unregelmäßigkeit der Katalysatoraktivität erfolgt zudem eine OBD-Kontrolle (OBD = On-Board-Diagnose) des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators (Verfahrensschritt b.).

Bei Feststellung einer Unregelmäßigkeit oder bei Überschreitung der zulässigen Katalysatorbeladung erfolgt dann zunächst eine Überprüfung der Zulässigkeit einer  $\text{NO}_x$ -Regeneration, um unerwünschte oder gar gefährliche Betriebsbedingungen oder Fahrsituationen zu vermeiden. Hierbei werden sicherheitsrelevante Bauteile auf ordnungsgemäße Funktionsweise und/oder die aktuelle Fahrsituation auf Einhaltung vorbestimmter Fahrparameter überprüft (Verfahrensschritt c).

Gleichzeitig mit der Zulässigkeitsüberprüfung oder im Anschluß daran erfolgt in einem weiteren Verfahrensschritt (Verfahrensschritt d) eine Überprüfung, ob durch Einhaltung vorbestimmter Regenerationsparameter aktuellerweise eine Möglichkeit zur Durchführung einer  $\text{NO}_x$ -Regeneration gegeben ist. Diese Überprüfung kann auch bereits vor der Zulässigkeitsüberprüfung erfolgen.

Gegebenenfalls werden die erforderlichen Regenerationsparameter eingestellt und die Regeneration wird eingeleitet. Ansonsten erfolgt eine Wiederholung des Verfahrensschrittes c.) bis zur Zulässigkeit einer NO<sub>x</sub>-Regeneration. Gegebenenfalls wird auch eine die Durchführung einer Regeneration behindernde festgestellte Funktionsstörung eines der sicherheitsrelevanten Bauteile angezeigt.

Wenn die NO<sub>x</sub>-Regeneration sowohl zulässig als auch möglich ist, wird der NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator schließlich in einem letzten Verfahrensschritt e.) bis zum Erreichen eines vorbestimmten Regenerationsgrades regeneriert. Im Anschluß daran werden die normalen Betriebsbedingungen wieder eingestellt und es erfolgt eine Rückkehr zum dem Verfahrensschritt a.).

Falls die aktuellen Ergebnisse der auch bei Durchführung der Verfahrensschritte d.) und e.) andauernden Zulässigkeitsüberprüfung des Verfahrensschrittes c.) dies erfordern, erfolgt bei erkannter Unzulässigkeit des Regenerationsvorgangs jedoch ein vorzeitiger Abbruch oder zumindest eine Unterbrechung der NO<sub>x</sub>-Regeneration und eine Rückkehr zum Verfahrensschritt a.) oder c.). Gegebenenfalls wird auch eine festgestellte Funktionsstörung eines der sicherheitsrelevanten Bauteile angezeigt.

Die Entscheidung über eine Rückkehr zu dem Verfahrensschritt a.) oder einer Rückkehr zu dem Verfahrensschritt c.) erfolgt vorzugsweise anhand des aktuellerweise bereits erreichten Regenerationsgrades, der mit einem vorbestimmten Regenerationsgrad verglichen wird. Bei Unterschreitung dieses Wertes, d. h. bei Überschreitung eines entsprechenden Stickoxidbeladungsgrades, wird von einer nicht ausreichenden Funktionsfähigkeit des Katalysators ausgegangen und es wird durch Rückkehr zu der Zulässigkeitsüberprüfung des Verfahrensschrittes c.) eine Fortsetzung des Regenerationsvorgangs eingeleitet. Beim Erreichen oder beim Überschreiten des vorbestimmten Regenerationsgrades hingegen ist durch Unterschreitung einer kritischen Stickoxidbeladung bereits eine ausreichend hohe katalytische Aktivität gewährleistet und es erfolgt eine Rückkehr zu dem Verfahrensschritt a.) zur Ermittlung des optimalen Zeitpunktes für die nächste NO<sub>x</sub>-Regeneration. Der erreichte NO<sub>x</sub>-Regenerationsgrad wird über den Beladungszustand des Katalysators mit Stickoxiden bestimmt.

Bei einer bevorzugten Verfahrensvariante erfolgt die Einstellung der erforderlichen Regenerationsparameter in dem Verfahrensschritt d.) erst nach Ablauf einer vorbestimmten ersten Zeitspanne und/oder nach Überschreitung zumindest eines zweiten Schwellenwertes für die Stickoxidbeladung, um möglichst wenig in das Betriebsverhalten der Brennkraftmaschine eingreifen zu müssen.

Weitere bevorzugte Verfahrensvarianten sind den zugehörigen Unteransprüchen zu entnehmen.

Um das Verfahren bei einem Common-Rail-Dieselmotor anwenden zu können, wird dieser erfindungsgemäß zusätzlich mit einer vor dem Ansaugkrümmer angeordneten Drosselklappe versehen.

Eine Abgasreinigungsvorrichtung zur Durchführung der erfindungsgemäßen Verfahren umfaßt einen NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator, dem zur Bestimmung der optimalen NO<sub>x</sub>-Regenerationstemperatur zumindest je ein Temperaturfühler vorgeschaltet bzw. nachgeschaltet ist, aus deren Meßwerten die eigentlich gewünschte Katalysatortemperatur bestimmt wird. Dem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator kann zudem eine Breitbandlambdasonde zur Bestimmung des Lambda-Wertes vorgeschaltet und ein NO<sub>x</sub>-Sensor zur Bestimmung der NO<sub>x</sub>-Emission nachgeschaltet sein.

Weitere Merkmale und Vorteile der erfindungsgemäßen Verfahren und der genannten Vorrichtungen zur Durchführung dieser Verfahren ergeben sich nicht nur aus den zugehörigen Ansprüchen - für sich und/oder in Kombination - sondern auch aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele in Verbindung mit den zugehörigen Zeichnungen. In den Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 ein Flußdiagramm des erfindungsgemäßen NO<sub>x</sub>-Regenerationsverfahrens und

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines Common-Rail-Dieselmotors mit einer nachgeschalteten Abgasreinigungsvorrichtung zur Durchführung des Verfahrens gemäß Fig. 1.

Ausgangspunkt für das erfindungsgemäße Verfahren ist die kontinuierliche Bestimmung der  $\text{NO}_x$ -Speicheraktivität oder des  $\text{NO}_x$ -Emissionsschlupfs, der bei magerer Betriebsweise anhand des aktuellen Beladungszustandes des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators, der anströmenden  $\text{NO}_x$ -Rohemission, der Abgas- oder Katalysatortemperatur und des Abgasmassenstroms bestimmt wird. Die  $\text{NO}_x$ -Rohemission wird hierbei anhand eines Kennfeldes aus dem Verbrauch oder aus den gefahrenen Motorbetriebspunkten (Drehzahl  $n$ , aktuelle Einspritzmenge  $M_E$ ) bestimmt. Sie kann über Korrekturfelder für den Ladedruck, die EGR-Rate, die Drosselklappenstellung sowie den Beginn der Vor- und Haupteinspritzung und die Dauer der Voreinspritzung korrigiert werden.

Da die katalytische Aktivität und damit die Funktionstüchtigkeit des Katalysators, wie bereits erwähnt wurde, mit steigender Stickoxidbeladung allmählich absinkt, wird zur Gewährleistung einer ordnungsgemäßen Funktionsweise des Katalysators bei Überschreitung einer maximal zulässigen Stickoxidbeladung bzw. bei Unterschreitung einer minimal zulässigen Katalysatoraktivität entsprechenden vorbestimmten Schwellenwertes eine  $\text{NO}_x$ -Regeneration als erforderlich erachtet und es werden die hierfür erforderlichen Maßnahmen in Form der nachfolgend beschriebenen Verfahrensschritte ergriffen.

Zur Gewährleistung einer ordnungsgemäßen Betriebsweise des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators findet zudem ergänzend zu der Bestimmung des Beladungszustandes eine OBD-Kontrolle (OBD = On-Board-Diagnose) des Katalysators statt, die im wesentlichen aus einer Überwachung der  $\text{NO}_x$ -Speicheraktivität zur Feststellung eventuell auftretender Unregelmäßigkeiten besteht. Die Soll-Werte der  $\text{NO}_x$ -Speichereffizienz dienen daher als Eingangssignal für die OBD-Kontrolle.

Unregelmäßigkeiten der Katalysatoraktivität machen sich im wesentlichen durch zwei Schädigungsbilder bemerkbar, die auch gemeinsam auftreten können:

- Nach einer  $\text{NO}_x$ -Regeneration wird zunächst eine gute  $\text{NO}_x$ -Einlagerung gemessen, die Sättigung setzt jedoch schneller und stärker als berechnet ein.
- Nach einer  $\text{NO}_x$ -Regeneration wird ein stärkerer  $\text{NO}_x$ -Durchbruch gemessen als nach den Berechnungen zu erwarten ist.



Bei Belegung oder Zerstörung der Edelmetallkomponenten des Katalysators ist neben der abnehmenden  $\text{NO}_x$ -Aktivität auch mit einer Minderung der HC-, CO- und Partikelkonvertierung zu rechnen, so daß ein Abgleich der berechneten mit der gemessenen  $\text{NO}_x$ -Speichereffizienz zur Katalysatordiagnose ausreicht. Unregelmäßigkeiten der Katalysatoraktivität werden daher durch Bestimmung von  $\text{NO}_x$ -Durchbrüchen ermittelt, die in einem vorbestimmten Zeitfenster von etwa 30 s einen vorbestimmten Schwellenwert überschreiten müssen, der bis zu einer  $\text{NO}_x$ -Rohemission von etwa 10 g/h einer Abweichung von etwa 2 g/h zwischen Istwert und Sollwert entspricht, während er bei höheren  $\text{NO}_x$ -Rohemissionen einer Abweichung von 20 % entspricht.

Nach Feststellung einer solchen Unregelmäßigkeit der Katalysatoraktivität wird unter Durchführung der nachfolgenden beschriebenen Verfahrensschritte zunächst zumindest eine vorgezogene  $\text{NO}_x$ -Regeneration durchgeführt. Bei Fortbestehen der Unregelmäßigkeiten wird zudem, wie bei einer zu hohen Schwefelbeladung auch, zusätzlich zumindest noch eine De-Sulfatierung eingeleitet.

Zur Durchführung einer vorgezogenen oder regulären  $\text{NO}_x$ -Regeneration wird zunächst die aktuelle Fahrsituation auf Einhaltung vorbestimmter Fahrparameter überprüft, da eine solche Maßnahme nicht bei allen Fahr- oder Betriebssituationen zulässig ist. Insbesondere die Drehzahl, die Last, die Laständerung und die Fahrgeschwindigkeit müssen hierbei innerhalb vorgegebener Zulässigkeitsgrenzen liegen, die eingehalten werden müssen, damit eine  $\text{NO}_x$ -Regeneration erfolgen kann oder ein bereits begonnener Regenerationsvorgang nicht unterbrochen oder abgebrochen wird.

Bei sehr hohen Drehzahlen oder Lasten ist eine Anfettung des insbesondere bei Turbomotoren sehr hohen Abgasmassenstroms auf einen Lambda-Wert von weniger als 1, wie er zur Durchführung einer  $\text{NO}_x$ -Regeneration erforderlich ist, nur in Verbindung mit hoher Exothermie im Abgas möglich, so daß bei Drehzahlen von mehr als etwa  $3600 \text{ min}^{-1}$  keine Regeneration erfolgt. Auch bei Drehzahlen von weniger als etwa  $1200 \text{ min}^{-1}$  wird eine  $\text{NO}_x$ -Regeneration unterdrückt, da diese nur während des Fahrbetriebs mit entsprechend hohen Drehzahlen erfolgen soll, um akustische Einflüsse durch die erforderliche Teillandrosselung in Fahrphasen mit höheren Abroll- und Windgeräuschen, d. h. höhere Geschwindigkeiten, zu verlagern und um eventuell auftretende, unerwünschte geruchsintensive Reaktionsprodukte nicht im Stillstand oder bei zu

geringer Fahrgeschwindigkeit zu emittieren. Aus diesem Grund wird auch die zulässige Mindestgeschwindigkeit zur Durchführung einer NO<sub>x</sub>-Regeneration auf etwa 20 km/h begrenzt.

Zur Vermeidung gefährlicher Fahrsituationen wird auch bei abrupten Laständerungswünschen keine NO<sub>x</sub>-Regeneration zugelassen. Als Maß für die Laständerungswünsche dient hierbei eine zeitliche Veränderung des Pedalwertgebers PWG oder die PWG-Geschwindigkeit, die beispielsweise einen Wert von etwa 100 %/s nicht überschreiten darf.

Die Zulässigkeit einer NO<sub>x</sub>-Regeneration bei einer vorgegebenen Fahrsituation kann auch aus Schwellenwerten für die Einspritzmenge, den Drehzahlgradienten oder für ein Schuberkennungs- oder Bremssignal abgeleitet werden, wobei beispielsweise die Einspritzmenge in Abhängigkeit vom verwendeten Motortyp 10 - 90 % des Maximalwertes betragen sollte. Falls eine oder mehrere dieser Möglichkeiten nicht benötigt werden, so können diese durch entsprechende Wahl der Schwellenwerte oder Zulässigkeitsgrenzen oder durch soft- oder hardwaremäßige Schalter außer Betrieb genommen werden.

Der NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator benötigt nach einer De-Sulfatierung oder einer vollständig verlaufenen oder aus den nachstehend noch dargelegten Gründen unterbrochenen oder vorzeitig abgebrochenen NO<sub>x</sub>-Regeneration stets eine Abkühl- oder Erholungspause bis zur Durchführung einer erneuten Regeneration, deren Dauer abhängig ist von der zum Erreichen des Regenerationszustandes erforderlichen Vorbereitungszeit und der eigentlichen Regenerationsdauer. Typische Zeiten liegen zwischen 30 und 300 s, insbesondere jedoch zwischen 40 und 60 s. Nach Beendigung einer NO<sub>x</sub>-Regeneration wird daher durch ein entsprechendes Abbruch- oder Endsignal eine Zeitfunktion gestartet, die in Abhängigkeit von der Vorbereitungs- und Regenerationszeit eine variable Erholungszeit errechnet, in der keine NO<sub>x</sub>-Regeneration zugelassen wird. Vor dem Einleiten einer Regeneration wird daher als weitere Zulässigkeitsvoraussetzung auch die Einhaltung der erforderlichen Erholungsdauer überprüft.

Da die erforderliche Anfeuchtung des Abgasstroms auf  $\lambda \leq 1$  zu einer Anhebung der gesamten eingespritzten Kraftstoffmenge und damit zu einer Leistungszunahme führen

MISSING UPON TIME OF PUBLICATION

AUSENTE EN EL MOMENTO DE LA PUBLICACIÓN

MANQUANT AU MOMENT DE LA PUBLICATION

---

Eine zusätzliche Kontrolle erfolgt über ein Lambdasignal, das zur Gewährleistung einer hinreichend schnellen Oxidationsreaktion auf dem Vorkatalysator und dem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator einen vorbestimmten unteren Schwellenwert nicht unterschreiten darf, der dem durch motorische Maßnahmen einzustellenden Lambda-Wert bei der NO<sub>x</sub>-Regeneration entspricht.

In Abhängigkeit von dem vor Einleitung der motorischen Maßnahmen vorliegenden Lambda-Wert kann die Vorbereitung der NO<sub>x</sub>-Regeneration zunächst durch motorische Maßnahmen, wie z. B. eine Teillandrosselung der Brennkraftmaschine und/oder eine Erhöhung der EGR-Rate und/oder eine Senkung des Ladedrucks (unter Beachtung der Partikelemission und Korrektur der Haupteinspritzmenge zur Kompensation eventueller Leistungseinbrüche als Folge der Drosselung), schnell eingeleitet werden. Mit Annäherung an einen vorbestimmten Lambda-Schwellenwert von etwa 1,1 - 1,6, insbesondere jedoch etwa 1,3 - 1,5, wird dann die Verstellgeschwindigkeit der Aktuatoren zunehmend verlangsamt, um eine annähernd drehmomentneutrale Anpassung der Haupteinspritzung zu ermöglichen. Dieser Lambda-Wert richtet sich nach dem Betriebspunkt des Motors und kann über die PWG-Geschwindigkeit dynamikkorrigiert werden.

Nach Abschluß dieser ersten Stufe wird die Nacheinspritzmenge in einer zweiten Stufe rampenförmig angehoben und ihr Maximalwert so geregelt, daß der Lambda-Wert nach dem Motor den Wert des Regenerations-Lambda-Wertes von etwa 0,75 - 0,99, insbesondere jedoch etwa 0,92 - 0,99, annimmt. Der Einspritzpunkt wird dabei so eingestellt, daß die Nacheinspritzung im Expansionstakt nach Brennende oder im Ausschubtakt erfolgt. Erfolgt die Nacheinspritzung während des Brennendes, so ist diese Energieabgabe durch Korrektur der Haupteinspritzmenge zu kompensieren. Der Wert des Regenerations-Lambda-Wertes kann dabei über die Regenerationszeit in Abhängigkeit vom Beladungszustand des Katalysators mit Stickoxiden und Schwefel, der Abgasdurchströmung und der Abgastemperatur vor und nach dem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator variieren.

Da die NO<sub>x</sub>-Regeneration überwiegend mit CO als Regenerationsmittel abläuft, wird in einer dritten Stufe die Voreinspritzmenge betriebspunktabhängig und gedämpft auf einen Wert von etwa 1 - 50 %, insbesondere jedoch 5 - 20 %, der Haupteinspritzmenge angehoben und gleichzeitig die Haupteinspritzmenge betriebspunktabhängig und

gedämpft zurückgenommen. Der Voreinspritzzeitpunkt liegt hierbei vor Zündbeginn im Ansaugtakt oder in der ersten Phase des Verdichtungstaktes.

Um das Fahrverhalten möglichst wenig zu beeinflussen, kann die Einstellung der erforderlichen Regenerationsparameter auch erst nach Ablauf einer vorbestimmten Zeitspanne oder nach Überschreitung eines zweiten Schwellenwertes für die Stickoxidbeladung erfolgen, der beispielsweise einer Beladung entspricht, bei der eine Regeneration dringend erforderlich ist. In diesem Fall wird der Beladungszustand des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators durch die Schwellenwerte in drei charakteristische Bereiche unterteilt, in denen eine „Regeneration nicht nötig“, eine „Regeneration nötig“ oder eine „Regeneration dringend nötig“ ist. Es ist auch eine Kombination beider Verfahren oder auch eine feinere Unterteilung des Beladungszustandes durch Verwendung weiterer Schwellenwerte denkbar.

Im Zustand „Regeneration nötig“ findet dann eine  $\text{NO}_x$ -Regeneration des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators nur statt, wenn sowohl die Betriebssituation eine Regeneration erlaubt, d. h., wenn die angegebenen Zulässigkeitsvoraussetzungen erfüllt sind, als auch die erforderlichen Betriebsparameter eingestellt sind und eine Regeneration ermöglichen. Andernfalls wird mit einer Regeneration so lange gewartet, bis der Zustand „Regeneration dringend nötig“ erreicht ist. Dann wird jedoch beim Vorliegen der Zulässigkeitsvoraussetzungen durch verschiedene motorische Maßnahmen der genannten Art, die einzeln oder in Kombination erfolgen, auf die Betriebsparameter derart Einfluß genommen, daß eine Regeneration erfolgen kann. Durch diese aus der genannten deutschen Patentanmeldung 197 16 275.4 bekannte zweistufige Vorgehensweise wird das Betriebsverhalten der Brennkraftmaschine möglichst wenig beeinflußt.

Vor Einsetzen der  $\text{NO}_x$ -Regeneration muß zunächst der im  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator lagernde Restsauerstoff verbraucht werden. Der bei fettem Abgas hierfür nutzbare Reduktionsmittelüberschuß läßt sich aus dem HC- und CO-Massenstrom errechnen. Anschließend werden die gespeicherten Stickoxide mit dem Reduktionsmittelüberschuß umgesetzt. Die Reaktion läuft nicht vollkommen stöchiometrisch ab, sondern wird über den Lambda-Wert, den Abgasmassenstrom und die Abgastemperatur vor und nach dem  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator korrigiert.

Die eigentliche  $\text{NO}_x$ -Regeneration wird durch eine Teilandrosselung des Motors, und/oder eine Erhöhung der EGR-Rate, und/oder eine Senkung des Ladedrucks (unter Beachtung der Partikelemission), und/oder eine Anhebung der Vor- und Nacheinspritzmenge und/oder eine Senkung der Haupteinspritzmenge gesteuert.

Insbesondere durch die Teilandrosselung ist mit einer Momentenänderung zu rechnen, die durch Anpassung der Haupteinspritzmenge korrigiert werden muß, ohne daß der Fahrer eine Änderung des Fahrverhaltens bemerkt. Die Korrektur der Momentenänderung kann hierbei auch erst nach Überschreiten eines bestimmten Schwellenwertes erfolgen.

Zur Korrektur wird zunächst per Kennfeld ein Sollmoment abgerufen. Momentenänderungen als Folge eines Motoreingriffs ergeben sich durch Abweichungen bei der Ladungswechselarbeit und durch eine Verbrennungsverschiebung infolge anderer Drosselklappen- und EGR- und Ladedruckeinstellungen. Daneben führt eine unvollständige Verbrennung bei sehr niedrigen Lambda-Werten als Folge von Androsselung/Ladedrucksenkung/Anhebung der EGR-Rate zu einer Korrektur des Sollmomentes. Bei sehr hohen Nacheinspritzmengen verbleiben Kraftstoffreste im Zylinder, die erst im nächsten Takt mit verbrennen und somit ebenfalls momentenbeeinflussend sind. Nur zur Applikationserleichterung wird abschließend bei der Ermittlung des tatsächlichen Momentes ein weiteres Korrekturfeld additiv eingeschleift.

Eine Änderung der Haupteinspritzmenge wird erst freigegeben, wenn ein vorbestimmter Schwellenwert der Momentenabweichung überschritten wird.

Die pro Zeiteinheit im fetten Abgas mögliche absolute Entladung des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators richtet sich nach dem verfügbaren Reduktionsmittelangebot, d. h. nach der verfügbaren Reduktionsmittelmenge und der Reduktionsmittelzusammensetzung im Fetten. Der Regenerationsablauf wird zudem durch den Beladungszustand des Katalysators, den  $\text{NO}_x$ - und Restsauerstoffgehalt des anströmenden Abgases, der Temperatur des Speicherkatalysators, den Abgasmassenstrom sowie die  $\text{O}_2$ -Speicherfähigkeit des Washcoats beeinflusst und kann modellmäßig erfaßt werden. Die  $\text{CO}$ - und  $\text{HC}$ -Massenströme im Abgas lassen sich aus

dem Spritzbeginn und der Spritzdauer der Vor-, Haupt- und Nacheinspritzung sowie aus der Drehzahl und dem Luftmassenstrom errechnen.

Die  $\text{NO}_x$ -Regeneration wird üblicherweise bis zum Erreichen eines vorbestimmten Regenerationsgrades durchgeführt. Anschließend werden wieder normale Betriebsbedingungen eingestellt und es wird erneut mit der eingangs beschriebenen Bestimmung des Beladungszustandes begonnen, um den Zeitpunkt für die nächste  $\text{NO}_x$ -Regeneration zu ermitteln.

Bei dieser regulären Beendigung der  $\text{NO}_x$ -Regeneration wird in umgekehrter Reihenfolge wie bei der Durchführung der  $\text{NO}_x$ -Regeneration verfahren. Zunächst wird die Voreinspritzmenge zeitgesteuert rampenförmig auf den Normalwert zurückgeführt, wobei jedoch die Änderungsgeschwindigkeit größer ist als bei der Durchführung der Regeneration. Die Nacheinspritzung kann gleichzeitig ohne Verzögerung gestoppt werden, da sie keinen oder allenfalls einen geringen Einfluß auf den Brennverlauf besitzt. Zudem werden die Drosselklappe, der EGR-Steller und der Ladedruckregler mit einer vom Lambda-Wert und vom Betriebspunkt (Drehzahl  $n$ , aktuelle Einspritzmenge  $M_E$ ) abhängigen Verstellgeschwindigkeit auf die Normalwerte zurückgeführt.

In manchen Fällen kann es jedoch auch zu einem vorzeitigen Abbruch oder zumindest zu einer Unterbrechung eines bereits begonnenen Regenerationsvorgangs kommen, falls dieser aufgrund der aktuellen Ergebnisse der bereits beschriebenen Zulässigkeitsüberprüfung unzulässig sein sollte.

Beim vorzeitigen Abbruch einer  $\text{NO}_x$ -Regeneration werden Haupt- und Voreinspritzmenge sofort auf den Normalwert gesetzt und gleichzeitig die Nacheinspritzung abgeschaltet. Wenn der Abbruch des Regenerationsvorgangs jedoch aus einer zu geringen Fahrgeschwindigkeit, d. h. einer Geschwindigkeit von weniger als etwa 20 km/h resultiert, wird die Nacheinspritzung für eine bestimmte Taktzeit nur reduziert. Die Nacheinspritzung wird nicht abgeschaltet, wenn der Abbruch der  $\text{NO}_x$ -Regeneration auf eine zu große Laständerung zurückzuführen ist, d. h. wenn die zeitliche Änderung des Pedalwertgebers PWG einen vorbestimmten Schwellenwert überschreitet. Die Drosselklappe, der EGR-Steller und der Ladedruckregler werden in Abhängigkeit vom errechneten oder gemessenen Lambda-Wert mit hoher Geschwindigkeit wieder auf den Normalwert zurückgeführt.

Eine andere Möglichkeit für eine plötzliche Unzulässigkeit des  $\text{NO}_x$ -Regenerationsvorgangs besteht in einer zu hohen thermischen Belastung des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators durch Überschreitung eines Schwellenwertes für die Regenerations-Gesamtzeit, die sich aus der zum Umschalten vom normalen Betriebszustand in den Regenerationszustand erforderlichen Vorbereitungs- oder Aufheizzeit und aus der zur Durchführung einer Regeneration erforderlichen eigentlichen Regenerationszeit zusammensetzt. Alternativ hierzu können auch Schwellenwerte für die Einzelzeiten verwendet werden. Die zulässige Regenerationsdauer beträgt hierbei etwa maximal 5 - 30 s, insbesondere jedoch etwa 15 s.

Nach dem vorzeitigen Abbruch oder einer Unterbrechung des Regenerationsvorgangs wird kontinuierlich die Zulässigkeit einer Regeneration sowie die Möglichkeit zu deren Durchführung weiter überprüft, um, falls erforderlich, den abgebrochenen Regenerationsvorgang durch Weiterführung so bald wie möglich zu beenden, und damit die volle Funktionsfähigkeit des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators wieder herstellen zu können.

Zudem wird die Stickoxidbeladung des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators und damit dessen Regenerationsgrad bestimmt und mit einer maximal zulässigen Restbeladung von etwa 5 - 15 % bezogen auf den Beladungszustand bei Einleitung der  $\text{NO}_x$ -Regeneration bestimmt. Bei Unterschreitung dieses Wertes ist der  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator durch den vorangegangenen Regenerationsvorgang bereits ausreichend gut regeneriert, um eine ordnungsgemäße Funktionsweise gewährleisten zu können. In diesem Fall wird der Regenerationsvorgang endgültig abgebrochen und es wird durch Rückkehr zu der anfangs beschriebenen kontinuierlichen Bestimmung des Beladungszustandes der Zeitpunkt für die nächste reguläre  $\text{NO}_x$ -Regeneration bestimmt.

Beim Erreichen oder Überschreiten der angegebenen Restbeladung erfolgt hingegen nach erneutem Vorliegen der Zulässigkeitsvoraussetzungen eine Fortführung des unterbrochenen Regenerationsvorgangs bis zum Erreichen des vorbestimmten Regenerationsgrades. Um die zum Erwärmen des Speicherkatalysators eingesetzte Energie möglichst optimal nutzen zu können, wird die Katalysatortemperatur hierbei durch abgeschwächte temperaturerhaltende Maßnahmen beibehalten und erst nach Ablauf einer vorbestimmten Zeitspanne von etwa 10 - 300 s, insbesondere jedoch



30 - 50 s, ohne Erfüllung der Zulässigkeitsvoraussetzungen auf normale Betriebswerte abgesenkt.

Die NO<sub>x</sub>-Regeneration gilt als beendet, wenn die Abweichung des Ist-Lambda-Wertes vom Normal-Lambda-Wert unterhalb eines bestimmten Schwellenwertes liegt, wobei der Lambda-Wert sowohl durch eine Messung mittels eines Lambda-Sensors als auch über eine Berechnung bestimmt werden kann.

Zur Gewährleistung einer ordnungsgemäßen Funktionsweise des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators wird nach einer vorgezogenen NO<sub>x</sub>-Regeneration und/oder De-Sulfatierung auf Grund einer durch die OBD-Kontrolle ermittelten Unregelmäßigkeit der Katalysatoraktivität die Anzahl der nachfolgend durchgeführten NO<sub>x</sub>-Regenerationen bestimmt und mit einer vorbestimmten Mindestanzahl aufeinanderfolgender NO<sub>x</sub>-Regenerationen verglichen, die 10 - 100, vorzugsweise jedoch etwa 20 beträgt. Beim Auftreten einer erneuten Unregelmäßigkeit der Katalysatoraktivität vor Erreichung dieser Mindestanzahl wird von einem Katalysatordefekt ausgegangen, der durch eine ansprechende Anzeigeeinrichtung angezeigt wird.

Zwischen den einzelnen Regenerationsvorgängen wird die NO<sub>x</sub>-Einlagerung in den Speicherkatalysator durch abgastemperatursteigende und abgasmassenstromsenkende Maßnahmen begünstigt, was im Vergleich zu herkömmlichen Abgasreinigungsverfahren zu einer merklichen Verminderung des Stickoxidausstoßes führt. Die Verbesserung der NO<sub>x</sub>-Einlagerung erfolgt hierbei insbesondere durch eine Steigerung der Abgastemperatur vor dem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator auf einen Wert von mehr als etwa 190 °C mittels einer EGR-Änderung, einer Drosselung der Frischluftmenge um bis zu 70 % und eine Ladedrucksenkung bis hin zum reinen Saugbetrieb. Diese Werte werden über die Abgastemperatur und die PWG-Dynamik korrigiert. Es erfolgt ein gedämpftes Einsetzen und Ausschleifen der Maßnahmen. Da die Katalysatoren bei diesen Temperaturen noch zu kalt zur Schadstoffumsetzung sind, macht eine Nacheinspritzung keinen Sinn. Es dürfen nur thermische Maßnahmen ergriffen werden.

Fig. 2 zeigt in schematischer Darstellung einen zur Durchführung des erfindungsgemäßen Regenerationsverfahrens und zur Verbesserung der NO<sub>x</sub>-Einlagerung, d. h. zur wirkungsvollen Verringerung der Stickoxidemission geeigneten Common-Rail-Dieselmotor 10 mit einem vorgeschalteten Saugrohr 12 und einer darin

- 16 -

eingebauten Drosselklappe 14, die hinter nicht dargestellten Ladedruck- und Temperatursensoren aber vor einer EGR-Einleitung 16 angeordnet ist und zur Reduzierung des Luft-Kraftstoffverhältnisses Lambda ohne Drehmomenteneinbrüche dient. Die Ansteuerung der Drosselklappe 14 erfolgt entweder durch ein pulswidenmoduliertes Signal mit fester Frequenz, welches sich aus dem Tastverhältnis der Ansteuerung ergibt, oder durch eine CAN-Botschaft, die prozentual die Stellung der Drosselklappe 14 beschreibt. Die Ruhestellung der Drosselklappe 14 ist grundsätzlich in Stellung „offen“. Die Definition, welcher Wert des Ansteuersignals welcher Drosselklappenstellung entspricht, ist per Software einstellbar.

Das Abgas des Dieselmotors 10 gelangt über eine Abgasleitung 18 mit einem Abgasturbolader 20 in eine Abgasreinigungsvorrichtung mit einem Vorkatalysator 22 und einem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator 24. Dem Vorkatalysator 22 ist eine Breitbandlambdasonde 26 zur Messung des Lambda-Wertes vorgeschaltet, die zusätzlich oder alternativ zu einer Berechnung des Lambda-Wertes erfolgt.

Vor dem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator 24 und nach dem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator 24 ist jeweils ein Temperaturfühler 28 bzw. 30 zur Überwachung der minimal bzw. maximal zulässigen Regenerationstemperatur angeordnet. Die Temperaturfühler 28, 30 dienen zudem zur Überwachung des für eine De-Sulfatierung erforderlichen Temperaturbereichs sowie zur Steuerung der optimalen NO<sub>x</sub>-Einlagerung durch temperatursteigernde Maßnahmen. Durch Vergleich der Ausgangstemperatur des aus dem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator 24 ausströmende Abgases mit der Eingangstemperatur des in den Katalysator 24 einströmenden Abgases kann die katalytische Aktivität des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators 24 überwacht werden.

Dem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator 24 ist ein NO<sub>x</sub>-Sensor 38 zur Messung der Stickoxidemission nachgeschaltet, der zur Bestimmung von Unregelmäßigkeiten der Katalysatoraktivität dient.

Die Meßsignale der Breitbandlambdasonde 26, der Temperaturfühler 28, 30 und des NO<sub>x</sub>-Sensors 38 liegen über Leitungen 32, 34, 40 an einer zugehörigen Steuereinrichtung 36 zur Steuerung des Motors 10 an.

## PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur NO<sub>x</sub>-Regeneration eines einer mager betriebenen Brennkraftmaschine (10) nachgeschalteten NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (24) mit folgenden Verfahrensschritten:
  - a) Bestimmung des Beladungszustandes des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (24) mit Stickoxiden und Vergleich der ermittelten Beladungswerte mit einem vorbestimmten ersten Schwellenwert für eine maximal zulässige Stickoxidbeladung und/oder
  - b.) OBD-Kontrolle des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (24) zur Überwachung der Katalysatoraktivität;
  - c.) bei Überschreitung des Schwellenwertes oder bei Feststellung einer Unregelmäßigkeit der Katalysatoraktivität Überprüfung der Zulässigkeit einer NO<sub>x</sub>-Regeneration durch Überprüfung der ordnungsgemäßen Funktionsweise sicherheitsrelevanter Bauteile und/oder Überprüfung der aktuellen Fahrsituation auf Einhaltung vorbestimmter Fahrparameter;
  - d.) Überprüfung, ob durch Einhaltung vorbestimmter Regenerationsparameter die Möglichkeit zur Durchführung einer NO<sub>x</sub>-Regeneration gegeben ist, gegebenenfalls Einstellung der erforderlichen NO<sub>x</sub>-Regenerationsparameter und Einleitung der NO<sub>x</sub>-Regeneration bei Zulässigkeit einer solchen Maßnahme, ansonsten Wiederholung des Verfahrensschrittes c.) und/oder gegebenenfalls Signalisierung einer festgestellten Funktionsstörung eines der sicherheitsrelevanten Bauteile; und

- e.) Durchführung der NO<sub>x</sub>-Regeneration bis zum Erreichen eines vorbestimmten NO<sub>x</sub>-Regenerationsgrades, Einstellung normaler Betriebsbedingungen und Rückkehr zu dem Verfahrensschritt a.) oder vorzeitiger Abbruch oder Unterbrechung der NO<sub>x</sub>-Regeneration, falls die aktuellen Ergebnisse der Zulässigkeitsüberprüfung des Verfahrensschrittes c.) dies erfordern, Rückkehr zu dem Verfahrensschritt a.) oder c.) und/oder gegebenenfalls Signalisierung einer festgestellten Funktionsstörung eines der sicherheitsrelevanten Bauteile.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Einstellung der erforderlichen Regenerationsparameter bei dem Verfahrensschritt d.) erst nach Ablauf einer vorbestimmten ersten Zeitspanne und/oder nach Überschreitung zumindest eines zweiten Schwellenwertes für die Stickoxidbeladung erfolgt.
  3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß nach einem vorzeitigen Abbruch oder einer Unterbrechung der NO<sub>x</sub>-Regeneration der Beladungszustand der NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (24) mit Stickoxiden bestimmt und bei Unterschreitung eines vorbestimmten Regenerationsgrades, d. h. bei Überschreitung einer vorbestimmten Stickoxidbeladung, durch Rückkehr zu dem Verfahrensschritt c.) eine erneute NO<sub>x</sub>-Regeneration eingeleitet wird, während beim Erreichen oder bei einer Überschreitung des vorbestimmten Regenerationsgrades eine Rückkehr zu dem Verfahrensschritt a.) erfolgt.
  4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß der vorbestimmte Regenerationsgrad weniger als 5 - 15 % Restbeladung bezogen auf den Beladungszustand bei Einleitung der NO<sub>x</sub>-Regeneration beträgt.
  5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Brennkraftmaschine (10) ein Common-Rail-Dieselmotor verwendet wird.
  6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß als sicherheitsrelevante Bauteile das Einspritzsystem und/oder die Drosselklappe (14) und/oder der EGR-/Ladedrucksteller überprüft werden.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Fahrsituation aus einem Schwellenwert für den Pedalwertgeber PWG und/oder der Einspritzmenge und/oder der Drehzahl und/oder einem Schuberkennungssignal und/oder einem Bremssignal und/oder einem Drehzahlgradienten abgeleitet wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine NO<sub>x</sub>-Regeneration nur bei Überschreitung einer bestimmten Mindestgeschwindigkeit durchgeführt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Mindestgeschwindigkeit 20 km/h beträgt.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß nur in einem bestimmten Drehzahl- oder Lastbereich und in einem bestimmten Bereich von Laständerungswünschen oder der PWG-Geschwindigkeit eine NO<sub>x</sub>-Regeneration durchgeführt wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Drehzahlbereich 1200 - 3600 min<sup>-1</sup> beträgt, während die maximale PWG-Geschwindigkeit < 100 %/s ist.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine NO<sub>x</sub>-Regeneration nur durchgeführt wird, wenn die Haupteinspritzmenge 10 - 90 % des Maximalwertes beträgt.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Einhaltung der erforderlichen Regenerationstemperatur durch Bestimmung der Abgastemperatur vor und/oder nach dem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator (24) überwacht wird.
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Durchführung einer NO<sub>x</sub>-Regeneration eine Abgastemperatur von 220 - 500 °C eingestellt wird.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Abgas- oder Katalysatortemperatur durch Einstellung der EGR-Rate und/oder einer Drosselklappe und/oder des Ladedruckstellers, und/oder der Nacheinspritzmenge und/oder des Zeitpunktes der Nacheinspritzung und/oder des Spritzbeginns der Haupteinspritzung gesteuert wird.
16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die zum Einstellen des Regenerationszustandes erforderliche Vorbereitungszeit und die zur Durchführung einer NO<sub>x</sub>-Regeneration erforderliche Regenerationsdauer bestimmt werden und daß die NO<sub>x</sub>-Regeneration nach Überschreitung einer vorbestimmten maximal zulässigen Vorbereitungszeit und/oder Regenerationsdauer unterbrochen oder vorzeitig abgebrochen wird.
17. Verfahren nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, daß die maximal zulässige Regenerationsdauer 5 - 30 s beträgt.
18. Verfahren nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, daß die maximal zulässige Regenerationsdauer 15 s beträgt.
19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß innerhalb einer vorbestimmten minimalen Erholungszeit nach einer ordnungsgemäßen Beendigung oder einem vorzeitigen Abbruch bzw. einer Unterbrechung einer NO<sub>x</sub>-Regeneration keine erneute NO<sub>x</sub>-Regeneration oder De-Sulfatierung durchgeführt wird.
20. Verfahren nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet**, daß die minimale Erholungszeit in Abhängigkeit von der zur Einstellung des Regenerationszustandes erforderlichen Vorbereitungszeit und der eigentlichen Regenerationsdauer variabel gewählt wird.
21. Verfahren nach Anspruch 19 oder 20, **dadurch gekennzeichnet**, daß die minimale Erholungszeit 30 - 300 s beträgt.

- 21 -

22. Verfahren nach Anspruch 21, **dadurch gekennzeichnet**, daß die minimale Erholungszeit 40 - 60 s beträgt.
  23. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Katalysatortemperatur nach einer Unterbrechung oder einem vorzeitigen Abbruch der NO<sub>x</sub>-Regeneration durch abgeschwächte temperaturerhaltende Maßnahmen beibehalten und erst nach Ablauf einer vorbestimmten zweiten Zeitspanne auf normale Betriebswerte abgesenkt wird.
  24. Verfahren nach Anspruch 23, **dadurch gekennzeichnet**, daß die vorbestimmte zweite Zeitspanne 10 - 300 s beträgt.
  25. Verfahren nach Anspruch 24, **dadurch gekennzeichnet**, daß die vorbestimmte zweite Zeitspanne 30 - 50 s beträgt.
  26. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die NO<sub>x</sub>-Speicheraktivität oder der NO<sub>x</sub>-Emissionsschlupf bei magerer Betriebsweise anhand des aktuellen Beladungszustandes des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (24), der ausströmenden NO<sub>x</sub>-Rohemission, der Abgas- oder Katalysatortemperatur und des Abgasmassenstroms bestimmt wird.
  27. Verfahren nach Anspruch 26, **dadurch gekennzeichnet**, daß die NO<sub>x</sub>-Rohemission anhand eines Kennfeldes aus dem Verbrauch oder den gefahrenen Motorbetriebspunkten (Drehzahl n, aktuelle Einspritzmenge M<sub>E</sub>) bestimmt wird.
- 
28. Verfahren nach Anspruch 27, **dadurch gekennzeichnet**, daß die bestimmten NO<sub>x</sub>-Rohemissionswerte über Korrekturfelder für den Ladedruck, die EGR-Rate, die Drosselklappenstellung sowie den Beginn der Vor- und Haupteinspritzung und die Dauer der Voreinspritzung korrigiert werden.
  29. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die NO<sub>x</sub>-Regeneration durch Teilandrosselung der Brennkraftmaschine (10) und/oder Erhöhung der EGR-Rate und/oder Senkung des Ladedrucks und/oder

Anhebung der Vor- und/oder Nacheinspritzmenge und/oder Senkung der Haupteinspritzmenge gesteuert wird.

30. Verfahren nach Anspruch 29, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Lambda-Wert in einer ersten Stufe durch Teillandrosselung der Brennkraftmaschine (10) und/oder Erhöhung der EGR-Rate und/oder Senkung des Ladedrucks zunächst auf einen vorbestimmten ersten Lambda-Schwellenwert abgesenkt und dann in einer zweiten Stufe durch Steuerung der Nacheinspritzung auf den endgültigen Regenerations-Lambda-Wert eingestellt wird.
31. Verfahren nach Anspruch 30, **dadurch gekennzeichnet**, daß der vorbestimmte Lambda-Schwellenwert 1,1 - 1,6 beträgt.
32. Verfahren nach Anspruch 31, **dadurch gekennzeichnet**, daß der vorbestimmte Lambda-Schwellenwert 1,3 - 1,5 beträgt.
33. Verfahren nach einem der Ansprüche 30 bis 32, **dadurch gekennzeichnet**, daß der vorbestimmte Regenerations-Lambda-Wert 0,75 bis 0,99 beträgt.
34. Verfahren nach Anspruch 33, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Regenerations-Lambda-Wert 0,92 - 0,99 beträgt.
35. Verfahren nach Anspruch 30, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Voreinspritzmenge in einer dritten Stufe auf 1 - 50 % der Haupteinspritzmenge angehoben wird.
36. Verfahren nach Anspruch 35, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Voreinspritzmenge auf 5 - 20 % der Haupteinspritzmenge angehoben wird.
37. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß auftretende Momentenänderungen durch Steuerung der Haupteinspritzmenge korrigiert werden.



38. Verfahren nach Anspruch 37, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Momentenänderungen erst nach Überschreitung eines bestimmten Schwellenwertes korrigiert werden.
39. Verfahren nach einem der vorgehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß Unregelmäßigkeiten der Katalysatoraktivität hinsichtlich aller Schadstoffe durch Bestimmung von NO<sub>x</sub>-Durchbrüchen ermittelt werden.
40. Verfahren nach Anspruch 39, **dadurch gekennzeichnet**, daß die NO<sub>x</sub>-Durchbrüche in einem bestimmten Zeitfenster einen bestimmten Schwellenwert überschreiten müssen.
41. Verfahren nach Anspruch 40, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Schwellenwert für mehr als 30 s überschritten werden muß.
42. Verfahren nach Anspruch 40 oder 41, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Schwellenwert bis zu einer NO<sub>x</sub>-Rohemission von 10 g/h einer Abweichung von 2 g/h zwischen Istwert und Sollwert entspricht, während er bei höheren NO<sub>x</sub>-Rohemissionen einer Abweichung von 20 % entspricht.
43. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß nach Feststellung einer Unregelmäßigkeit der Katalysatoraktivität zumindest eine vorgezogene NO<sub>x</sub>-Regeneration durchgeführt wird.
44. Verfahren nach Anspruch 43, **dadurch gekennzeichnet**, daß zusätzlich zumindest noch eine De-Sulfatierung durchgeführt und danach bei Fortbestehen der Unregelmäßigkeit ein Katalysatordefekt signalisiert wird.
45. Verfahren nach Anspruch 43 oder 44, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Anzahl der nach einer vorgezogenen NO<sub>x</sub>-Regeneration durchgeführten regulären NO<sub>x</sub>-Regenerationen bestimmt und mit einer vorbestimmten Mindestanzahl aufeinanderfolgender NO<sub>x</sub>-Regenerationen verglichen wird und daß beim Auftreten einer erneuten Unregelmäßigkeit der Katalysatoraktivität vor Erreichung dieser Mindestanzahl ein Katalysatordefekt signalisiert wird.

46. Verfahren nach Anspruch 45, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Mindestanzahl aufeinanderfolgender regulärer NO<sub>x</sub>-Regenerationen 10 - 100 beträgt.
47. Verfahren nach Anspruch 46, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Mindestanzahl aufeinanderfolgender regulärer NO<sub>x</sub>-Regenerationen 20 beträgt.
48. Common-Rail-Dieselmotor (10), **dadurch gekennzeichnet**, daß zur NO<sub>x</sub>-Regeneration eines nachgeschalteten NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (24) nach einem der vorhergehenden Ansprüche vor dem Ansaugkrümmer eine Drosselklappe (14) angeordnet ist.
49. Verfahren zur Begünstigung der NO<sub>x</sub>-Einlagerung in einem einer mager betriebenen Brennkraftmaschine (10) nachgeschalteten NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator (24) durch abgastemperatursteigernde und/oder massenstromsenkende Maßnahmen.
50. Verfahren nach Anspruch 49, **dadurch gekennzeichnet**, daß die abgastemperatursteigernden und/oder massenstromsenkenden Maßnahmen eine EGR-Änderung und/oder eine Drosselung der Frischluftmenge um bis zu 70 % und/oder eine Ladedrucksenkung bis hin zum reinen Saugbetrieb umfassen.
51. Verfahren nach Anspruch 49 oder 50, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Abgastemperatur vor dem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator (24) durch die abgastemperatursteigernden Maßnahmen auf einen Wert von mehr als 190 °C erhöht wird.
52. Verfahren zur Stickoxidreduzierung im Abgas einer mager betriebenen Brennkraftmaschine (10) mit einem nachgeschalteten NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator (24) durch
  - Steuerung der NO<sub>x</sub>-Regeneration des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (24) nach zumindest einem der Ansprüche 1 - 47 und

- 25 -

- Begünstigung der NO<sub>x</sub>-Einlagerung nach zumindest einem der Ansprüche 49 - 51.

1/2

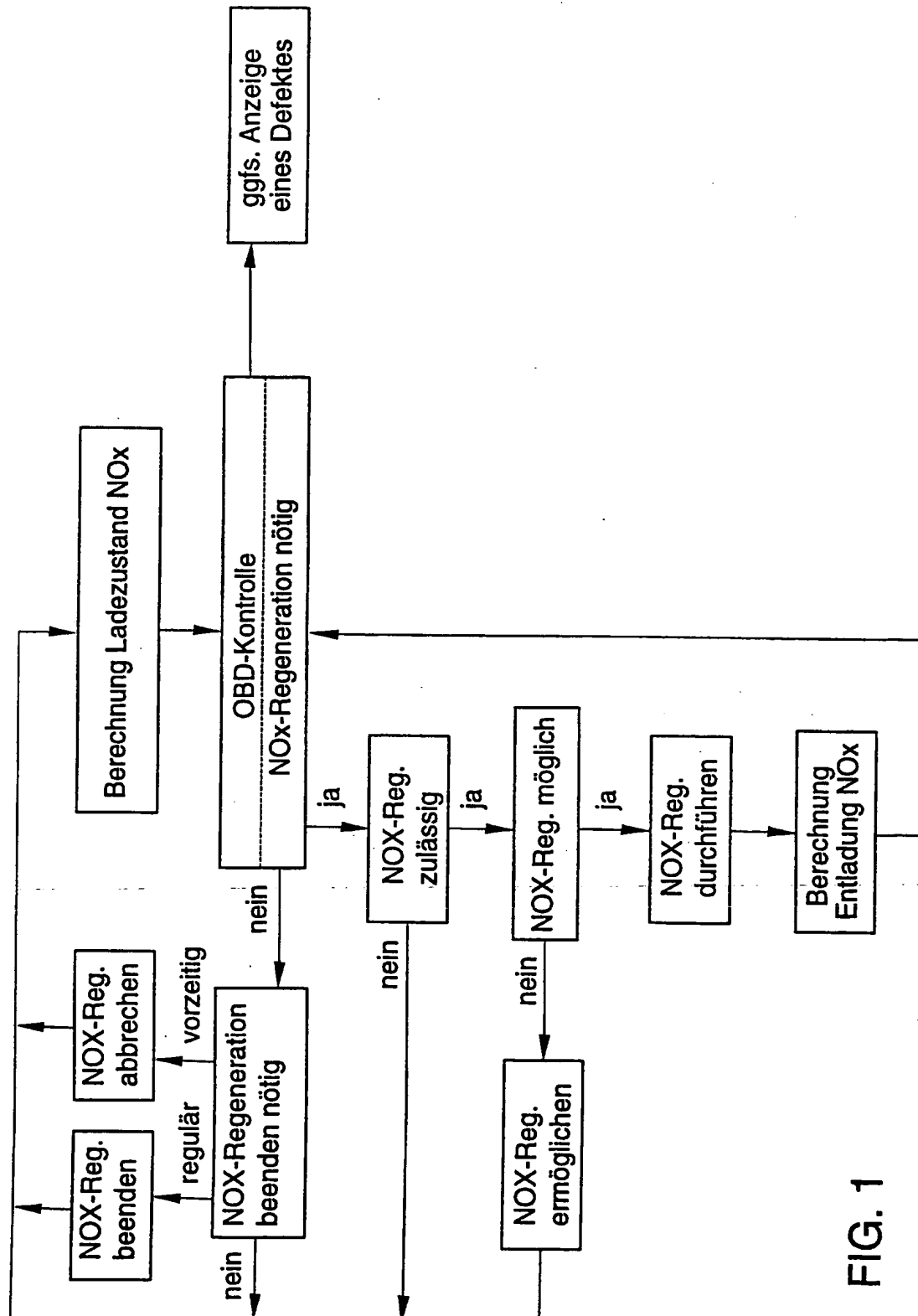


FIG. 1

2/2

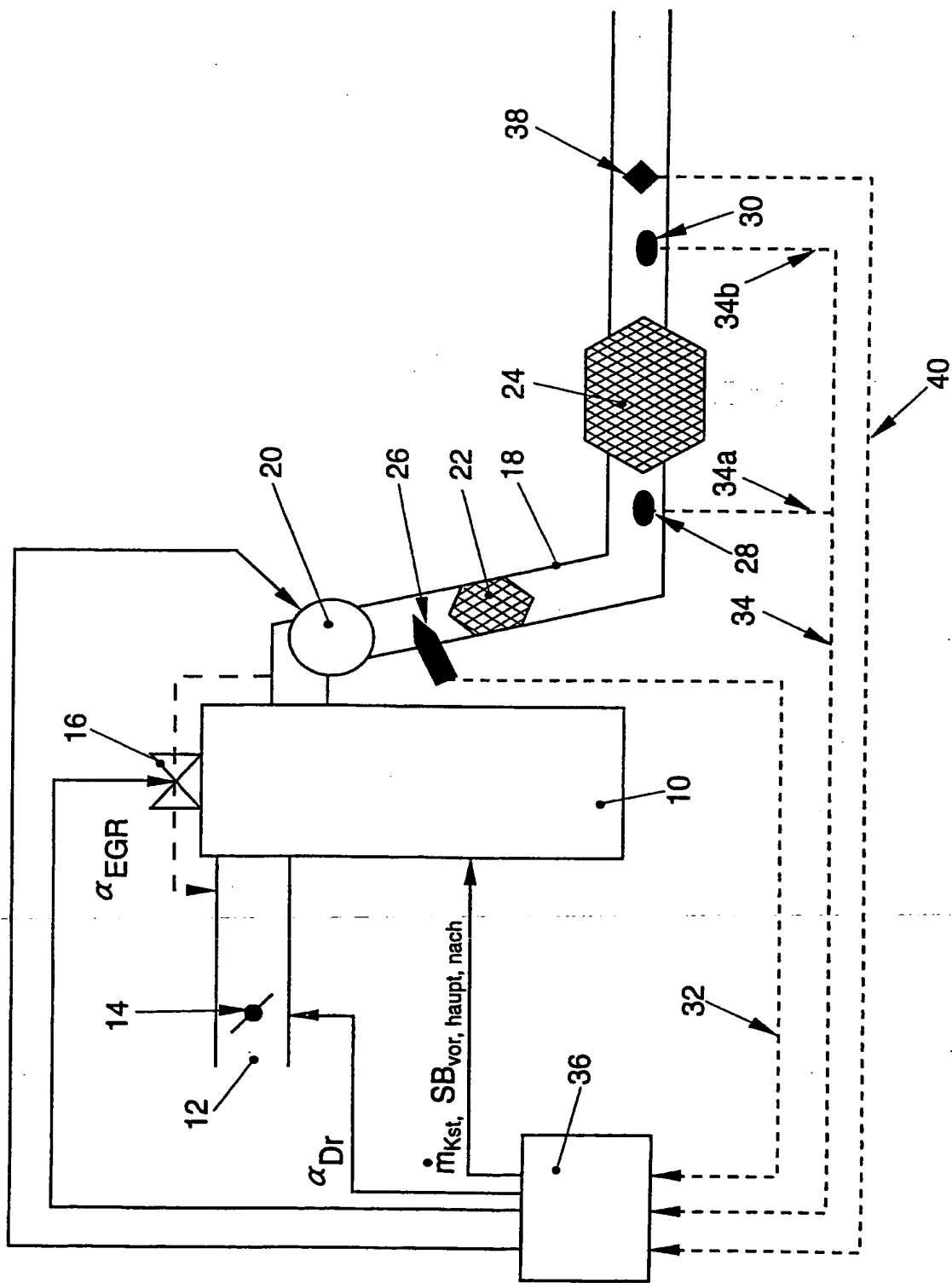


FIG. 2